

## STUDI PENGEMBANGAN NANOFLUIDA HIJAU BERASAL DARI BAHAN LOKAL ALAM UNTUK APLIKASI DI BIDANG TEKNIK

**Kushendarsyah Saptaji<sup>1</sup>, Alvika Meta Sari<sup>2</sup>, Anwar Ilmar Ramadhan<sup>3,\*</sup>, Istianto Budhi Rahardja<sup>4</sup>, Andi Muhammad Dadi Saputra<sup>5</sup>, Firmansyah<sup>6</sup>, Efrizon Umar<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Teknologi, Universitas Sampoerna, Jln. Raya Pasar Minggu, Kav. 16 Pancoran, Jakarta 12780, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

<sup>3,5,6</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

<sup>4</sup>Jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, 17520 Bekasi, Indonesia

<sup>7</sup>Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Tamansari No 71 Bandung 40132

\*Email: [anwar.ilmar@umj.ac.id](mailto:anwar.ilmar@umj.ac.id)

Diterima: 25 Mei 2023

Direvisi: 26 Juni 2023

Disetujui: 30 Juli 2023

### ABSTRAK

Peningkatan permintaan energi menyebabkan peningkatan suhu global yang terus menerus melebihi suhu pada masa pra-industri dengan pelepasan gas beracun dan radiasi yang menyebabkan keadaan iklim yang parah. Jadi, itu wajib untuk mengembangkan sistem termal yang tahan lama dan sangat efisien untuk mengatasi masalah ini. Telah banyak penelitian mengenai nanofluida untuk meningkatkan kinerja dalam aplikasi termal telah mendapatkan perhatian secara signifikan selama ini beberapa tahun karena kualitas unggul mereka. Selain itu, efek lain yang tidak diinginkan seperti korosi pada peralatan, tidak dapat terurai secara hayati produk sampingan terjadi karena adanya bahan kimia yang kuat. Oleh karena itu, pengembangan nanofluida hijau yang hemat biaya dan ramah lingkungan telah muncul sebagai bidang penelitian alternatif yang berkembang pesat dengan banyak peminat. Tinjauan saat ini memberikan pandangan komprehensif tentang berbagai teknik yang digunakan dalam persiapan nanofluida hijau menggunakan beberapa ekstrak alami. Morfologi unik, sifat optik, stabilitas, permukaan tinggi luas, toksisitas yang lebih rendah, dan peningkatan sifat termofisik nanopartikel hijau menjadikannya pilihan yang menguntungkan kandidat dalam meningkatkan kinerja sistem termal.

**Kata kunci:** aplikasi termal, nanofluida hijau, nanopartikel, stabilitas.

### ABSTRACT

*The increase in energy demand causes a continuous increase in global temperatures exceeding pre-industrial temperatures with the release of toxic gases and radiation causing severe climate conditions. So, it is mandatory to develop durable and highly efficient thermal systems to overcome these problems. There has been much research into nanofluids to improve performance in thermal applications and have gained significant attention over the past few years due to their superior qualities. Additionally, other undesirable effects such as corrosion of equipment, non-biodegradable by-products occur due to the presence of strong chemicals. Therefore, the development of cost-effective and environmentally friendly nanofluids has emerged as a fast-growing alternative research field with many enthusiasts. The current review provides a comprehensive view of the various*

*techniques used in the preparation of green nanofluids using several natural extracts. The unique morphology, optical properties, stability, high surface area, lower toxicity, and improved thermo-physical properties of green nanoparticles make them favorable choice candidates in enhancing the performance of thermal systems.*

**Keywords:** *thermal applications, green nanofluids, nanoparticles, stability.*

## PENDAHULUAN

Sistem perpindahan panas ada dimana-mana di banyak industri. Dilaporkan bahwa sistem termal yang kurang efisien menyebabkan total kehilangan panas hingga 50% dari energi masukan [6]. Manajemen energi memainkan peran penting dalam sistem perpindahan panas untuk mencapai penghematan energi dan biaya. Selain itu, proses pertukaran panas merupakan topik yang menantang dalam meningkatkan kinerja sistem perpindahan panas. Selain itu, untuk aplikasi yang memanfaatkan sumber daya tak terbarukan, peningkatan efisiensi dapat menghasilkan emisi yang lebih rendah sehingga memperlambat kondisi perubahan cuaca yang drastis [1]. Teknik pertukaran panas yang efektif melalui permukaan yang diperluas dan saluran mini/mikro dibatasi karena berkurangnya perangkat secara terus menerus dan beban panas yang melayang dalam sistem [7]. Namun, pengelolaan beban termal untuk aplikasi perpindahan panas yang lebih tinggi selalu menjadi perhatian utama. Salah satu metode terbaik untuk meningkatkan efisiensi termal adalah dengan penggunaan fluida kerja yang efektif. Pengembangan partikel berbasis nano oleh Choi [8] mengarah pada cara perspektif baru untuk menambah kemampuan kinerja fluida konvensional. Dengan demikian, kemampuan perpindahan panas fluida kerja konvensional dapat ditingkatkan dengan dispersi nanopartikel yang memiliki sifat termo-fisik yang lebih tinggi [9,10]. Dispersi nanopartikel dalam cairan konvensional yang berbeda seperti air, minyak, glikol, dll., sebuah metode peningkatan pasif, telah mendapatkan banyak perhatian di kalangan peneliti dalam dekade terakhir [11-13]. Selain itu, nanopartikel dengan ukuran yang lebih kecil dan memiliki sifat termo-fisik yang lebih tinggi yang tergabung dalam fluida dasar menunjukkan kemampuan perpindahan panas, pelumasan, peningkatan pendinginan, dan stabilitas yang lebih baik dengan beberapa sedimentasi dibandingkan dengan partikel padat lainnya yang terdispersi dalam fluida konvensional, fluida konduktif tersebut disebut

sebagai Nanofluida. Peningkatan yang luar biasa dalam efisiensi sistem termal membuat metode ini lebih menjanjikan dan diinginkan dibandingkan metode aktif.

Dalam dekade terakhir, penelitian tentang berbagai nanofluida (logam, metaloksida/nitrida/karbida, karbon, dan hibrida) telah dilakukan secara intensif untuk meningkatkan kinerja sistem termal secara keseluruhan. Nanofluida dalam sistem termal menawarkan karakteristik penyerapan energi yang lebih baik daripada fluida kerja konvensional, oleh karena itu meningkatkan laju perpindahan panas sehingga meningkatkan efisiensi [14-16]. Sifat nanofluida yang khusus dan ditingkatkan menjadikannya fluida kerja yang menjanjikan dan potensial yang secara efektif digunakan untuk meningkatkan kinerja dalam berbagai aplikasi (**Gambar 1**) seperti penukar panas [17-20], sistem manufaktur [21], minyak dan gas [22], pendinginan sistem elektronik [23], bahan perubahan fasa [24], pemanasan/pendinginan bangunan [25], sistem terbarukan [13], mobil [26], dan lain-lain.



**Gambar 1.** Aplikasi nanofluida diberbagai bidang [17-20]

Kinerja termal sistem perpindahan panas telah dinilai menggunakan nanofluida [13,27,28] dalam beberapa tahun terakhir. Berdasarkan tinjauan tersebut, bahkan jumlah minimum nanopartikel dalam cairan dasar meningkatkan kinerja termal sistem perpindahan panas. Selain itu, faktor-faktor seperti pH, suhu, morfologi partikel, fluida

basa, dan konsentrasi secara signifikan mempengaruhi sifat termofisik nanofluida. Nanofluida karbon menunjukkan kinerja termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan nanofluida lainnya [14,29]. Stabilitas koloid yang rendah dan sifat termofisik masih menjadi perhatian utama nanofluida terlepas dari peningkatan kinerja termal. Oleh karena itu, selalu ada banyak ruang dalam meningkatkan stabilitas dan sifat termofisika nanofluida. Selain itu, penggunaan nanofluida konvensional dalam sistem perpindahan panas semakin menimbulkan kekhawatiran karena pelepasan gas dan radiasi berbahaya yang pada gilirannya meningkatkan suhu global melebihi tingkat pra-industri dan menyebabkan kondisi cuaca drastis. Selain itu, beberapa nanopartikel mungkin mudah terbakar dan bahkan bersifat piroforik, sehingga meningkatkan risiko kecelakaan [30]. Dampak lain yang tidak diinginkan seperti korosi peralatan, produk sampingan yang tidak dapat terbiodegradasi dapat terjadi karena adanya bahan kimia yang kuat [11,13,14]. Oleh karena itu, pengembangan produk kimia yang lebih aman untuk memberantas masalah yang disebutkan di atas memerlukan nanofluida ramah lingkungan dalam aplikasi termal.

Oleh karena itu, nanofluida hijau stabil koloid tinggi sebagai alternatif fluida kerja sangat penting untuk penggunaan efektifnya dalam sistem termal yang berbeda. Namun, penelitian yang dipublikasikan selama dekade terakhir (2010 hingga Juni 2023) tentang nanofluida dan nanofluida ramah lingkungan (banyaknya kata nanofluida hijau, bionanofluida, dan nanofluida ramah lingkungan) di Science Direct.com dan scholar.google.com mengungkapkan bahwa lebih sedikit penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan nanofluida yang relatif ramah lingkungan.

Terlepas dari beberapa makalah tinjauan mengenai penerapan nanofluida hijau dalam permesinan, biomedis, pertanian, dan lain-lain [21,31–36], terdapat makalah terbatas yang berfokus pada penerapan nanofluida hijau dalam sistem termal khususnya dengan pertimbangan analisis ekonomi dan lingkungan. Selain itu, seperti yang diamati, karya eksperimental yang dilakukan menggunakan nanofluida ramah lingkungan dalam aplikasi termal sangat terbatas dan

memiliki cakupan yang lebih besar di masa mendatang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran tentang sintesis dan karakterisasi dari nanofluida hijau serta aplikasi dibidang teknik yang menggunakan nanofluida hijau.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ilmiah ini adalah dengan menggunakan studi pustaka dari beberapa artikel ilmiah hasil penelitian dan beberapa paper review pada database Google Scholar dan juga Scencedirect.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

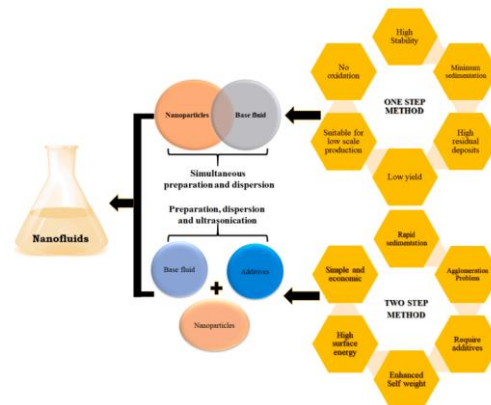
### Sintesis dari nanofluida hijau

Nanomaterials adalah bahan kimia inovatif yang digunakan dalam rentang dimensi berukuran nano (diameter 1 hingga 100 nm) dan termasuk partikulat. Mereka menampilkan peningkatan reaksi kimia, konduktivitas, dan sifat keseluruhan yang berbeda dibandingkan dengan material massal tanpa karakteristik skala nano. Nanomaterial muncul dalam berbagai bentuk geometris seperti batang, kabel, tabung, cangkang, sangkar, dan pori-pori. Mereka umumnya diklasifikasikan menjadi empat jenis yaitu 0D, 1D, 2D, dan 3D berdasarkan tampilan geometris secara keseluruhan. Ukurannya yang sangat kecil dapat sangat mempengaruhi sifat fisik dan kimia suatu zat. Sebaliknya, nanopartikel juga dapat diklasifikasikan menjadi karbon, logam, keramik, semikonduktor, polimer, dan lipid berdasarkan morfologi dan sifat nanopartikel. Sifatnya yang menarik dan peningkatan kemampuan teknis untuk beradaptasi dan mengendalikan menjadikannya bahan yang lebih menjanjikan dan diinginkan dalam bidang ilmiah saat ini [37]. Metode untuk mensintesis nanopartikel ditampilkan pada **Gambar 2**. Secara umum, ada tiga metode untuk mensintesis nanopartikel yaitu pendekatan fisik, kimia, dan biologi yang melibatkan metode one-step atau metode two-step.

Nanofluida ditentukan oleh jenis nanopartikel secara mikroskopis disebarluaskan dalam cairan dasar tertentu. Mencampur nanopartikel dalam fluida dasar konvensional adalah cara terbaik untuk

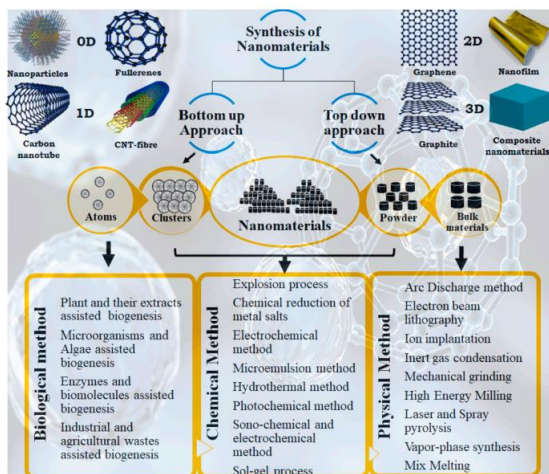
meningkatkan kinerja keseluruhan dalam sistem dimana nanofluida ini dimasukkan sebagai fluida kerja [38]. Berbagai nanopartikel seperti partikel Logam seperti tembaga [39], perak [40], emas [41], Keramik seperti aluminium oksida [42], tembaga oksida [43], titanium oksida dan silikon oksida [29] dll. , Berbasis karbon seperti tabung nano karbon ber dinding tunggal dan multi [44], graphene [29] da yang lainnya, nanopartikel hibrid [45], nanopartikel yang difungsikan [46,47], tersuspensi dalam cairan dasar yang berbeda seperti air, minyak, glikol, etilen, aseton, untuk membentuk nanofluida.

Persiapan dan stabilitas nanofluida merupakan persyaratan awal untuk studi yang tepat dan penggunaan nanofluida di dalamnya aplikasi yang berbeda. Beberapa makalah penelitian [48-50] tentang persiapan nanofluida, stabilitas, dan sifat termofisika telah ditinjau dalam dekade terakhir. Oleh karena itu, pembahasan singkat disajikan dalam karya ini. **Gambar 3** menunjukkan metode pembuatan nanofluida; Metode Satu Langkah dan Dua Langkah beserta kelebihan dan kekurangannya.

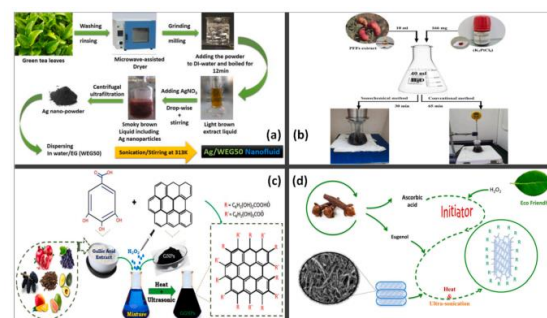


**Gambar 3.** Pembuatan nanofluida [48-50]

Sintesis nanopartikel ramah lingkungan diproduksi melalui regulasi, pengendalian, pembersihan, dan proses remediasi. Teknik yang digunakan mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Jenis teknik selalu penting dalam hubungannya dengan faktor-faktor lain untuk menjaga keamanan lingkungan dan kualitas nanopartikel [32,36]. Proses ramah lingkungan memerlukan biaya yang lebih sedikit dan memerlukan energi yang relatif lebih sedikit untuk memulai reaksi. Sintesis ramah lingkungan sangat direkomendasikan untuk produksi skala besar karena merupakan kriteria penting yang harus dipertimbangkan untuk memfasilitasi potensi penerapannya (**Gambar 4**).



**Gambar 2.** Klasifikasi nanopartikel berdasarkan dimensi dan metode berbeda untuk mensintesis nanopartikel [37]



**Gambar 4.** (a) Mekanisme preparasi nanopartikel perak ramah lingkungan menggunakan *Camellia sinensis* (daun teh hijau)[62], (b) Mekanisme preparasi nanopartikel Pt dengan dua metode (Konvensional dan sonokimia) menggunakan ekstrak buah *Prosopis farcta*. Fungsionalisasi hijau menggunakan metode radikal bebas (c) GNP[13], (d) MWCNT[75 64]

Sifat-sifat nanopartikel hijau sangat dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran partikel. Transformasi bentuk dilaporkan lebih mudah karena energi serupa yang dimiliki oleh nanopartikel dengan konfigurasi berbeda. Pengurangan ukuran nanopartikel secara signifikan cenderung menurunkan titik leleh nanopartikel. Juga, sifat nanopartikel sangat mempengaruhi sifat-sifatnya beserta bentuk dan ukurannya [98,99].

### Aplikasi Nanofluida Hijau Di Bidang Termal Sistem

Augmentasi sekitar 67% pada nilai 'h' dilaporkan untuk 1 vol% nanofluida perak mengalir dalam sistem penukar panas pipa ganda aliran balik di bawah rezim laminar ke turbulen [62]. Namun, peningkatan faktor gesekan dan penurunan tekanan dilaporkan terutama disebabkan oleh peningkatan viskositas nanofluida. Pembentukan sel Bénard maksimum (konveksi Rayleigh-Bénard) dalam selenium (setelah 150 detik), diikuti oleh perak (setelah 120 detik) pada suhu 80 °C. Waktu pembentukan sel yang lebih besar terbukti karena peningkatan kapasitas panas nanofluida hijau [63].

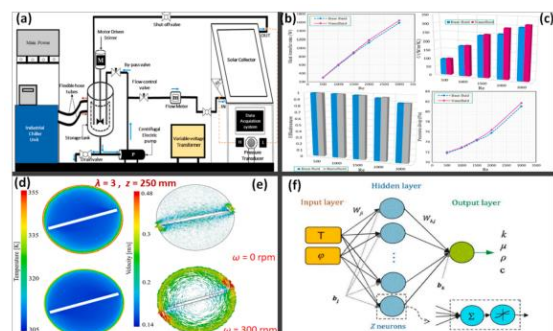
Peningkatan efisiensi termal sebesar 24% dan efisiensi eksergi sebesar 5,3% dilaporkan untuk nanofluida GGNP 0,1% yang mengalir dalam kolektor surya pelat datar (Gambar 5 (a)). Pemompaan relatif relatif lebih dekat ke fluida dasar. Augmentasi maksimum pada nilai 'h' dan Nu sekitar 37,54%, dan 18,7%, dilaporkan untuk CGNPs (0,1%) yang mengalir dalam pipa melingkar dalam kondisi turbulen [100]. Selain itu, nilai eksperimen memiliki kesesuaian yang baik dengan hasil simulasi yang diperoleh dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS-FLUENT [107].

Investigasi numerik nanofluida TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub> (0,1,0,3 dan 0,5%) pada kolektor palung parabola menunjukkan peningkatan rata-rata dalam 'h' sekitar 128% untuk TiO<sub>2</sub> dan 138 % untuk nanofluida SiO<sub>2</sub>. Selain itu, peningkatan rata-rata efisiensi termal adalah sekitar 0,077% untuk TiO<sub>2</sub> dan 0,073% untuk nanofluida SiO<sub>2</sub> [68]. Meningkatnya nilai parameter fraksional menyebabkan variasi suhu dan kecepatan nanofluida TiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang mengalir antara dua pelat vertikal (bio-konveksi) [111]. Efek nanofluida GGNP dalam penukar panas spiral 3D (Gambar 5 (b dan c))

mengungkapkan bahwa dengan peningkatan Re, laju perpindahan panas meningkat dengan koefisien perpindahan panas keseluruhan yang lebih tinggi daripada air. Selain itu, peningkatan nilai efektivitas terlihat terutama disebabkan oleh laju kapasitas panas minimum dan kecepatan aliran nanofluida panas yang lebih rendah.

Selain itu, peningkatan Re menyebabkan peningkatan penurunan tekanan dan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan air [101-108]. Teknik Optimasi dengan jaringan saraf menghasilkan suhu permukaan minimum dan konsumsi energi pada blok cairan mikro menggunakan nanofluida GGNP [112]. Selain itu, keseragaman suhu yang lebih baik dan penurunan suhu di kedua blok dilaporkan karena lapisan batas termal yang tipis. Nanofluida CGNP dalam tabung yang digabungkan dengan pita puntir yang berputar pada rasio puntir yang berbeda (2,5 hingga 3,5) dan kecepatan putaran (0 hingga 900 rpm) menunjukkan penurunan suhu dinding pada kecepatan putaran yang lebih tinggi dibandingkan pada kecepatan pita puntir yang lebih rendah [109] sebagai digambarkan pada Gambar 5 (d dan e).

Peningkatan gradien kecepatan menjadi lebih tinggi pada peningkatan kecepatan rotasi yang menggambarkan laju perpindahan panas yang lebih besar. Jaringan Syaraf Tiruan (JST) multilayer perceptron dengan 3 lapisan - masukan, tersembunyi, dan keluaran (Gambar 5 (f)) menunjukkan nomor neuron 7,4,7 dan 5 memberikan kinerja optimal dalam meningkatkan sifat termo-fisik CGNP. Namun, sedikit penyimpangan kesalahan diperoleh ketika model digeneralisasikan menjadi dua divisi [110-115].



Gambar 5. (a) Peralatan uji kolektor surya pelat datar [116](b) Laju Perpindahan Panas,

Efektivitas, (c) Keseluruhan koefisien perpindahan panas, Penurunan tekanan untuk keduanya air dingin dan nanofluida GGNP panas pada Re yang berbeda [117](d) Suhu (e) kontur kecepatan di kecepatan rotasi yang berbeda untuk konsentrasi nanofluida 0,025% [118](f) Diagram skematik Struktur jaringan[119]

## KESIMPULAN

Banyak perhatian yang diarahkan pada pembangunan metode yang mudah untuk sintesis nanopartikel tidak beracun, tidak korosif, dan ramah lingkungan menggunakan ekstrak alami yang berbeda. Kuantitas dan kualitas nanopartikel hijau yang berbeda sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mempengaruhi sintesis nanopartikel dan teknik karakterisasi yang sesuai. Ekstrak alami bertindak sebagai surfaktan dan zat pereduksi dalam pembuatan nanopartikel hijau. Teknik sintesis hijau berfungsi sebagai alternatif metode konvensional yang melibatkan bahan kimia berbahaya dan prosedur non-wajah. Dengan demikian, sintesis nanopartikel selalu ramah lingkungan ditekankan bersama untuk menjaga lingkungan yang lebih aman yang melibatkan nanoteknologi hijau. Namun, teknik yang digunakan dalam sintesis hijau memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Nanofluida hijau menunjukkan peningkatan perpindahan panas yang signifikan koefisien dan dengan demikian meningkatkan kinerja termal secara horizontal pipa melingkar, penukar panas pipa ganda, FPSC, dan PTC. Namun, lonjakan konsentrasi nanopartikel dalam cairan dasar menyebabkan penalti dengan meningkatkan faktor gesekan dan penurunan tekanan dalam sistem.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Muhammadiyah Jakarta, Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi (LLDIKTI) Wilayah III dan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendukung dan memberikan hibah Penelitian Kerjasama Dalam Negeri tahun 2023 dengan Nomor Kontrak: 179/E5/PG.02.00/PL/2023.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sarkar J. A critical review of heat transfer correlations of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:3271–7.
- [2] Yu W, Xie H. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *J Nanomater* 2012;2012:435873.
- [3] Murshed SMS, Leong KC, Yang C. Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids. *Int J Therm Sci* 2008;47(5):560–8.
- [4] Eastman JA, Choi SUS, Li S, Yu W, Thompson LJ. Anomalous increase in effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Appl Phys Lett* 2001;78(6):718–20.
- [5] Choi C, Yoo HS, Oh JM. Preparation and heat transfer properties of nanoparticle-in-transformer oil dispersions as advanced energy-efficient coolants. *Curr Appl Phys* 2008;8:710–2.
- [6] Xuan Y, Li Q. Heat transfer enhancement of nanofluids. *Int J Heat Fluid Flow* 2000;21:58–64.
- [7] Botha SS, Ndungu P, Bladergroen BJ. Physicochemical properties of oil-based nanofluids containing hybrid structures of silver nanoparticles supported on silica. *Ind Eng Chem Res* 2011;50:3071–7.
- [8] Hwang Y, Lee JK, Lee CH, Jung YM, Cheong SI, Lee CG, et al. Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids. *Thermochim Acta* 2007;455(1-2):70–4.
- [9] Balaji Bakthavatchalam, Khairul Habib, R. Saidur, Bidyut Baran Saha, Kashif Irshad, Comprehensive study on nanofluid and ionanofluid for heat transfer enhancement: A review on current and future perspective, *J. Mol. Liq.* 305 (2020) 112787, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112787>.
- [10] S.U.S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, in, *Am. Soc. Mech. Eng. Fluids Eng. Div. FED*

- (1995) 99–105.
- [11] M.K.A. Ali, H. Xianjun, Colloidal stability mechanism of copper nanomaterials modified by ionic liquid dispersed in polyalphaolefin oil as green nanolubricants, *J. Colloid Interface Sci.* 578 (2020) 24–36, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.05.092>
- [12] Wail Sami Sarsam, S.N. Kazi, A. Badarudin, Thermal performance of a flat-plate solar collector using aqueous colloidal dispersions of graphene nanoplatelets with different specific surface areas, *Appl. Therm. Eng.* 172 (2020) 115142, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115142>
- [13] R. Sadri, M. Hosseini, S.N. Kazi, S. Bagheri, A.H. Abdelrazek, G. Ahmadi, N. Zubir, R. Ahmad, N.I.Z. Abidin, A facile, bio-based, novel approach for synthesis of covalently functionalized graphene nanoplatelet nano-coolants toward improved thermo-physical and heat transfer properties, *J. Colloid Interface Sci.* 509 (2018) 140–152, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.07.05>
- [14] Mojtaba Moravej, Mehdi Vahabzadeh Bozorg, Yu Guan, Larry K.B. Li, Mohammad Hossein Doranehgard, Kun Hong, Qingang Xiong, Enhancing the efficiency of a symmetric flat-plate solar collector via the use of rutile TiO<sub>2</sub>-water nanofluids, *Sustain. Energy Technol. Assessments.* 40 (2020) 100783, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100783>.
- [15] L. Harish Kumar, S.N. Kazi, H.H. Masjuki, M.N.M. Zubir, Afrin Jahan, C. Bhinitha, Energy, Exergy and Economic analysis of Liquid Flat-Plate Solar Collector using Green covalent functionalized Graphene Nanoplatelets, *Appl. Therm. Eng.* 192 (2021) 116916, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116916>.
- [16] L.H. Kumar, S.N. Kazi, H.H. Masjuki, M.N.M. Zubir, A. Jahan, O.C. Sean, Experimental study on the effect of bio-functionalized graphene nanoplatelets on the thermal performance of liquid flat plate solar collector, *J. Therm. Anal. Calorim.* (2021), <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10527-y>.
- [17] O. Mahian, E. Bellos, C.N. Markides, R.A. Taylor, A. Alagumalai, L. Yang, C. Qin, B.J. Lee, G. Ahmadi, M.R. Safaei, S. Wongwises, Recent advances in using nanofluids in renewable energy systems and the environmental implications of their uptake, *Nano Energy* 86 (2021), 106069, <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106069>
- [18] K. Khanafer, K. Vafai, Analysis of turbulent two-phase flow and heat transfer using nanofluid, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 124 (2021), 105219, <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105219>
- [19] G. Chen, Y. Wang, Y. Zou, D. Jia, Y. Zhou, A fractal-patterned coating on titanium alloy for stable passive heat dissipation and robust superhydrophobicity, *Chem. Eng. J.* 374 (2019) 231–241, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.106>
- [20] Murshed SMS, Tan SH, Nguyen NT. Temperature dependence of interfacial properties and viscosity of nanofluids for droplet-based microfluidics. *J PhysD: Appl Phys* 2008;41(8):085502.
- [21] Chen L, Xie H. Silicon oil based multiwalled carbon nanotubes nanofluid with optimized thermal conductivity enhancement. *Colloids Surf A: Physicochem Eng Asp* 2009;352(1–3):136–40.
- [22] Wong KV, Leon OD. Applications of nanofluids: current and future. *Adv Mech Eng* 2010;2010:519659.
- [23] Das SK, Choi SUS, Patel HE. Heat transfer in nanofluids – a review. *Heat Transf Eng* 2006;27(10):3–19.
- [24] Wang XQ, Mujumdar AS. Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *Int J Therm Sci* 2007;46:1–19.

- [25] Daungthongsuk W, Wongwises S. A critical review of convective heat transfer of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2007;11:797–817.
- [26] Trisaksria V, Wongwises S. Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2007;11(3):512–23.
- [27] Wang XQ, Mujumdar AS. A review of nanofluids – part I: theoretical and numerical investigations. *Braz J of Chem Eng* 2008;25(4):613–30.
- [28] Wang XQ, Mujumdar AS. A review of nanofluids – part II: experiments and applications. *Braz J Chem Eng* 2008;25(4):631–48.
- [29] Murshed SMS, Leong KC, Yang C. Thermophysical and electrokinetic properties of nanofluids – a critical review. *Appl Therm Eng* 2008;28: 2109–25.
- [30] Yu W, France DM, Routbort JL, Choi SUS. Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements. *Heat Transf Eng* 2008;29(5):432–60.
- [31] Wen D, Lin G, Vafaei S, Zhang K. Review of nanofluids for heat transfer applications. *Particuology* 2009;7(2):141–50.
- [32] Kakac S, Pramuanjaroenkij A. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *Int J Heat Mass Transf* 2009;52:3187–96.
- [33] Taylor RA, Phelan PE. Pool boiling of nanofluids: comprehensive review of existing data and limited new data. *Int J Heat Mass Transf* 2009;52:5339–47.
- [34] Chandrasekar M, Suresh S. A review on the mechanisms of heat transport in nanofluids. *Heat Transf Eng* 2009;30(14):1136–50.
- [35] Özerinç S, Kakaç S, Yazicioğlu AG. Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review. *Microfluid Nanofluid* 2010;8 (2):145–70.
- [36] Paul G, Chopkar M, Manna I, Das PK. Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14 (7):1913–24.
- [37] Terekhov VI, Kalinina SV, Lemanov VV. The mechanism of heat transfer in nanofluids: State of the art (review). Part 1. Synthesis and properties of nanofluids. *Thermophys Aeromech* 2010;17(1):1–14.
- [38] Terekhov VI, Kalinina SV, Lemanov VV. The mechanism of heat transfer in nanofluids: state of the art (review). Part 2. Convective heat transfer. *Thermophys Aeromech* 2010;17(1):157–71.
- [39] Barber J, Brutin D, Tadrist L. A review on boiling heat transfer enhancement with nanofluids. *Nanoscale Res Lett* 2011;6(1):280.
- [40] Fan J, Wang L. Review of heat conduction in nanofluids. *J Heat Transf* 2011;133(4) (Article No. 040801).
- [41] Murshed SMS, Castro CAN, Lourenc MJV, Lopes MLM, Santos FJV. A review of boiling and convective heat transfer with nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:2342–54.
- [42] Saidur R, Leong KY, Mohammad HA. A review on applications and challenges of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:1646–68.
- [43] Mohammed HA, Bhaskaran G, Shuaib NH, Saidur R. Heat transfer and fluid flow characteristics in microchannels heat exchanger using nanofluids: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15(3):1502–12.
- [44] Xie H, Chen L. Review on the preparation and thermal performances of carbon nanotube contained nanofluids. *J Chem Eng Data* 2011;56 (4):1030–41.
- [45] Mohammed HA, Al-Aswadi AA, Shuaib NH, Saidur R. Convective heat transfer and fluid flow study over a step using nanofluids: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15(6):2921–39.
- [46] Sergis A, Hardalupas Y. Anomalous heat transfer modes of nanofluids: a review based on statistical analysis. *Nanoscale Res Lett* 2011;6:391.
- [47] Thomas S, Sobhan CBP. A review of experimental investigations on thermal phenomena in nanofluids. *Nanoscale Res Lett* 2011;6:377.
- [48] J. Sarkar et al. / *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43 (2015)



- 164–177 175[38] Kim H. Enhancement of critical heat flux in nucleate boiling of nanofluids: a state-of-art review. *Nanoscale Res Lett* 2011;6:415.
- [49] Ghadimi A, Saidur R, Metselaar HSC. A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *Int J Heat Mass Transf* 2011;54(17–18):4051–68.
- [50] Ramesh G, Prabhu NK. Review of thermo-physical properties, wetting and heat transfer characteristics of nanofluids and their applicability in industrial quench heat treatment. *Nanoscale Res Lett* 2011;6:334.
- [51] Haddad Z, Oztop HF, Nada EA, Mataoui A. A review on natural convective heat transfer of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:5363–78.
- [52] Huminic G, Huminic A. Application of nanofluids in heat exchangers: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:5625–38.
- [53] Ahmed HE, Mohammed HA, Yusoff MZ. An overview on heat transfer augmentation using vortex generators and nanofluids: approaches and applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:5951–93.
- [54] Vajjha RS, Das DK. A review and analysis on influence of temperature and concentration of nanofluids on thermophysical properties, heat transfer and pumping power. *Int J Heat Mass Transf* 2012;55:4063–78.
- [55] Philip J, Shima PD. Thermal properties of nanofluids. *Adv Colloid Interface Sci* 2012;183–184:30–45.
- [56] Ahn HS, Kim MH. A review on critical heat flux enhancement with nanofluids and surface modification. *J Heat Transf* 2012;134(2):024001.
- [57] Abouali O, Ahmadi G. Computer simulations of natural convection of single phase nanofluids in simple enclosures: a critical review. *Appl Therm Eng* 2012;36:1–13.
- [58] Chandrasekar M, Suresh S, Senthilkumar T. Mechanisms proposed through experimental investigations on thermophysical properties and forced convective heat transfer characteristics of various nanofluids – a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16(6):3917–38.
- [59] Yu W, France DM, Timofeeva EV, Singh D, Routbort JL. Comparative review of turbulent heat transfer of nanofluids. *Int J Heat Mass Transf* 2012;55(21–22):5380–96.
- [60] Taylor R, Coulombe S, Otanicar T, Phelan P, Gunawan A, Lv W, et al. Small particles, big impacts: a review of the diverse applications of nanofluids. *J Appl Phys* 2013;113(1):011301.
- [61] Michaelides EE. Transport properties of nanofluids – a critical review. *J NonEquilib Thermodyn* 2013;38(1):1–79.
- [62] Sureshkumar R, Mohideen ST, Nethaji N. Heat transfer characteristics of nanofluids in heat pipes: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;20:397–410.
- [63] Nkurikiyimfura I, Wang Y, Pan Z. Heat transfer enhancement by magnetic nanofluids – A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;21:548–61.
- [64] Mahian O, Kianifar A, Kalogirou SA, Pop I, Wongwises S. A review of the applications of nanofluids in solar energy. *Int J Heat Mass Transf* 2013;57:582–94.
- [65] Cheng L, Liu L. Review boiling and two-phase flow phenomena of refrigerant-based nanofluids: fundamentals, applications and challenges. *Int J Refrig* 2013;36:421–46.
- [66] Sundar LS, Sharma KV, Naik MT, Singh MK. Empirical and theoretical correlations on viscosity of nanofluids: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;25:670–86.
- [67] Sundar LS, Singh MK. Convective heat transfer and friction factor correlations of nanofluid in a tube and with inserts: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;20:23–35.
- [68] Wu JM, Zhao J. A review of nanofluid heat transfer and critical heat flux enhancement – research gap to engineering application. *Prog Nucl Energy* 2013;66:13–24.

- [69] Javadi FS, Saidur R, Kamalisarvestani M. Investigating performance improvement of solar collectors by using nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;28:232–45.
- [70] Hussein AM, Sharma KV, Bakar RA, Kadrigama K. A review of forced convection heat transfer enhancement and hydrodynamic characteristics of a nanofluid. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;29:734–43.
- [71] Haddad Z, Abid C, Oztop HF, Mataoui A. A review on how the researchers prepare their nanofluids. *Int J Therm Sci* 2014;76:168–89.
- [72] Sidik NAC, Mohammed HA, Alawi OA, Samion S. A review on preparation methods and challenges of nanofluids. *Int Commun Heat Mass Transf* 2014;54:115–25.
- [73] Alawi OA, Sidik NAC, Mohammed HA, Syahrullail S. Fluid flow and heat transfer characteristics of nanofluids in heat pipes: a review. *Int Commun Heat Mass Transf* 2014;56:50–62.
- [74] Shahrul IM, Mahbubul IM, Khaleduzzaman SS, Saidur R, Sabri MFM. A comparative review on the specific heat of nanofluids for energy perspective. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;38:88–98.
- [75] Li H, Ha CS, Kim I. Fabrication of carbon nanotube/SiO<sub>2</sub> and carbon nanotube/SiO<sub>2</sub>/Ag nanoparticles hybrids by using plasma treatment. *Nanoscale Res Lett* 2009;4:1384–8.
- [76] Guo S, Dong S, Wang E. Gold/platinum hybrid nanoparticles supported on multiwalled carbon nanotube/silica coaxial nanocables: preparation and application as electrocatalysts for oxygen reduction. *J Phys Chem C* 2008;112:2389–93.
- [77] Han ZH, Yang B, Kim SH, Zachariah MR. Application of hybrid sphere/carbon nanotube particles in nanofluids. *Nanotechnology* 2007;18:105701.
- [78] Jana S, Khojin AS, Zhong WH. Enhancement of fluid thermal conductivity by the addition of single and hybrid nano-additives. *Thermochim Acta* 2007;462:45–55.
- [79] Ho CJ, Huang JB, Tsai PS, Yang YM. Preparation and properties of hybrid waterbased suspension of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles and MEPCM particles as functional forced convection fluid. *Int Commun Heat Mass Transf* 2010;37:490–4.
- [80] Ho CJ, Huang JB, Tsai PS, Yang YM. On laminar convective cooling performance of hybrid water-based suspensions of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles and MEPCM particles in a circular tube. *Int J Heat Mass Transf* 2011;54:2397–407.
- [81] Suresh S, Venkitaraj KP, Selvakumar P, Chandrasekar M. Synthesis of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties. *Colloids Surf A: Physicochem Eng Asp* 2011;388:41–8.
- [82] Suresh S, Venkitaraj KP, Selvakumar P. Synthesis, characterisation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Cu nanocomposite powder and water based nanofluids. *Adv Mater Res* 2011;328–330:1560–7.
- [83] Baghbanzadeha M, Rashidib A, Rashtchiana D, Lotfib R, Amrollahib A. Synthesis of spherical silica/multiwall carbon nanotubes hybrid nanostructures and investigation of thermal conductivity of related nanofluids. *Thermochim Acta* 2012;549:87–94.
- [84] Abbasi SM, Nemati A, Rashidi A, Arzani K. The effect of functionalisation method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon nanotubes/gamma alumina. *Ceram Int* 2013;39(4):3885–91.
- [85] Nine MJ, Batmunkh M, Kim JH, Chung HS, Jeong HM. Investigation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MWCNTs hybrid dispersion in water and their thermal characterization. *J Nanosci Nanotechnol* 2012;12:4553–9.
- [86] Munkhbayar B, Tanshen MR, Jeoun J, Chung H, Jeong H. Surfactant-free dispersion of silver nanoparticles into MWCNT-aqueous nanofluids prepared by one-step technique and their thermal characteristics. *Ceram Int* 2013;39(6):6415–25.
- [87] Nine MJ, Munkhbayar B, Rahman

- MS, Chung H, Jeong H. Highly productive synthesis process of well dispersed Cu<sub>2</sub>O and Cu/Cu<sub>2</sub>O nanoparticles and its thermal characterization. *Mater Chem Phys* 2013;141:636–42.
- [88] Baby TT, Ramaprabhu S. Synthesis and nanofluid application of silver nanoparticles decorated graphene. *J Mater Chem* 2011;21:9702–9.
- [89] Baby TT, Ramaprabhu S. Experimental investigation of the thermal transport properties of a carbon nanohybrid dispersed nanofluid. *Nanoscale* 2011;3:2208–14.
- [90] Baby TT, Ramaprabhu S. Synthesis of silver nanoparticle decorated multiwalled carbon nanotubes–graphene mixture and its heat transfer studies in nanofluid. *AIP Adv* 2013;3:012111.
- [91] Baby TT, Ramaprabhu S. Synthesis and transport properties of metal oxide decorated graphene dispersed nanofluids. *J Phys Chem C* 2011;115:8527–33.
- [92] Chen L, Yu W, Xie H. Enhanced thermal conductivity of nanofluids containing Ag/MWNT composites. *Powder Technol* 2012;231:18–20.
- [93] Aravind SSJ, Ramaprabhu S. Graphene wrapped multiwalled carbon nanotubes dispersed nanofluids for heat transfer applications. *J Appl Phys* 2012;112:124304.
- [94] Aravind SSJ, Ramaprabhu S. Graphene–multiwalled carbon nanotube-based nanofluids for improved heat dissipation. *RSC Adv* 2013;3:4199–206.
- [95] Chen LF, Cheng M, Yang DJ, Yang L. Enhanced thermal conductivity of nanofluid by synergistic effect of multi-walled carbon nanotubes and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *Appl Mech Mater* 2014;548–549:118–23.
- [96] Batmunkh M, Tanshen MR, Nine MJ, Myekhlai M, Choi H, Chung H, et al. Thermal conductivity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles based aqueous nanofluids with an addition of a modified silver particle. *Ind Eng Chem Res* 2014;53(20):8445–51.
- [97] Madhesh D, Parameshwaran R, Kalaiselvam S. Experimental investigation on convective heat transfer and rheological characteristics of Cu–TiO<sub>2</sub> hybrid nanofluids. *Exp Therm Fluid Sci* 2014;52:104–15.
- [98] Sundar LS, Singh MK, Sousa ACM. Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT–Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water hybrid nanofluids. *Int Commun Heat Mass Transf* 2014;52:73–83.
- [99] Sundar L.S., Singh M.K., Ramana E.V., Sing B., Gracio J., Sousa ACM. Enhanced thermal conductivity and viscosity of nanodiamond–nickel nanocomposite nanofluids. *Scientific Reports* 2014; 4: no. 4039.
- [100] Paul G, Philip J, Raj B, Das PK, Manna I. Synthesis, characterization, and thermal property measurement of nano-Al<sub>95</sub>Zn<sub>05</sub> dispersed nanofluid prepared by a two-step process. *Int J Heat Mass Transf* 2011;54:3783–8.
- [101] Maxwell JC. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Oxford, UK: Clarendon Press; 1873.
- [102] Du YF, Lv YZ, Wang FC, Li XX, Li CR. Effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the breakdown strength of transformer oil. In: *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electrical Insulation, San Diego, CA; 2010*.
- [103] Lee JC, Seo HS, Kim YJ. The increased dielectric breakdown voltage of transformer oil-based nanofluids by an external magnetic field. *Int J ThermSci* 2012;62:29–33
- [104] Ramadhan, A. I., Azmi, W. H., Mamat, R., Hamid, K. A., & Norsakinah, S. (2019). Investigation on stability of tri-hybrid nanofluids in water-ethylene glycol mixture. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 469, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
- [105] Ramadhan, A. I., Azmi, W. H., Mamat, R., & Hamid, K. A. (2020). Experimental and numerical study of heat transfer and friction factor of plain tube with hybrid nanofluids. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100782.
- [106] Prashant Mohanpuria, Nisha K. Rana, Sudesh Kumar Yadav, Biosynthesis of nanoparticles: Technological concepts

- and future applications, J. Nanoparticle Res. 10 (3) (2008) 507–517, <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9275-x>.
- [107] M.M. Sarafraz, F. Hormozi, Intensification of forced convection heat transfer using biological nanofluid in a double-pipe heat exchanger, Exp. Therm Fluid Sci. 66 (2015) 279–289, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusc.2015.03.028>.
- [108] R. Kumar, J. Sharma, J. Sood, Rayleigh-Bénard cell formation of green synthesized nano-particles of silver and selenium, Mater. Today: Proc. 28 (2020) 1781–1787, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.191>.
- [109] Mahmood S. Jameel, Azlan Abdul Aziz, Mohammed Ali Dheyab, Comparative analysis of platinum nanoparticles synthesized using sonochemical-assisted and conventional green methods, Nano-Structures and Nano-Objects. 23 (2020) 100484, <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100484>.
- [110] A. Rufus, N. Sreeju, V. Vilas, D. Philip, Biosynthesis of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanostructures: Size effects on applications in thermal conductivity, catalysis, and antibacterial activity, J. Mol. Liq. 242 (2017) 537–549, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.07.057>.
- [111] P. Amani, K. Vajravelu, Intelligent modeling of rheological and thermophysical properties of green covalently functionalized graphene nanofluids containing nanoplatelets, Int. J. Heat Mass Transf. 120 (2018) 95–105, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.12.025>.
- [112] Nehad Ali Shah, Asiful H. Seikh, Iskander Tlili, Khadim Shah, Rana Muhammad Shabbir, Mohammad Rahimi-Gorji, Nabeel Alharthi, Natural convection of bio-nanofluid between two vertical parallel plates with damped shear and thermal flux, J. Mol. Liq. 296 (2019) 111575, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111575>.
- [113] M. Bahiraei, S. Heshmatian, M. Keshavarzi, Multi-attribute optimization of a novel micro liquid block working with green graphene nanofluid regarding preferences of decision maker, Appl. Therm. Eng. 143 (2018) 11–21, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.07.074>.
- [114] M. Hosseini, A.H. Abdelrazek, R. Sadri, A.R. Mallah, S.N. Kazi, B.T. Chew, S. Rozali, N. Yusoff, Numerical study of turbulent heat transfer of nanofluids containing eco-friendly treated carbon nanotubes through a concentric annular heat exchanger, Int. J. Heat Mass Transf. 127 (2018) 403–412, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.08.040>.
- [115] M. Amani, P. Amani, O. Mahian, P. Estellé, Multi-objective optimization of thermophysical properties of eco-friendly organic nanofluids, J. Clean. Prod. 166 (2017) 350–359, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.014>.
- [116] Mehdi Bahiraei, Mohammad Jamshidmofid, Saeed Heshmatian, Entropy generation in a heat exchanger working with a biological nanofluid considering heterogeneous particle distribution, Adv. Powder Technol. 28 (9) (2017) 2380–2392, <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.06.021>.
- [117] K. Balaji, S. Iniyar, M.V. Swami, Exergy, economic and environmental analysis of forced circulation flat plate solar collector using heat transfer enhancer in riser tube, J. Clean. Prod. 171 (2018) 1118–1127, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.093>.
- [118] L. Meyer, G. Tsatsaronis, J. Buchgeister, L. Schebek, Exergoenvironmental analysis for evaluation of the environmental impact of energy conversion systems, Energy. 34 (2009) 75–89, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.0>

[7.018.](#)

- [119] S. Shoeibi, N. Rahbar, A.A. Esfahlani, H. Kargarsharifabad, Energy matrices, exergoeconomic and enviroeconomic analysis of air-cooled and water-cooled solar still: Experimental investigation and numerical simulation, *Renew. Energy.* 171 (2021) 227–244, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.081>.

